

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 776 776

②1 N° d'enregistrement national : 98 03718

⑤1 Int Cl<sup>6</sup> : G 01 N 25/22, G 01 K 17/06, G 01 D 5/32

①2 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 24.03.98.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 01.10.99 Bulletin 99/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SCHLUMBERGER INDUSTRIES SA  
Société anonyme — FR.

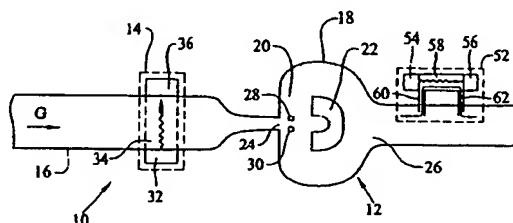
⑦2 Inventeur(s) : FROELICH BENOIT et DOMINGUEZ  
DIDIER.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : SCHLUMBERGER INDUSTRIES.

⑤4 DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURE DIRECTE DE L'ENERGIE CALORIFIQUE CONTENUE DANS UN GAZ  
COMBUSTIBLE.

⑤7 L'invention est relative à un dispositif (10) de mesure  
de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible  
transporté dans une conduite (16) comprenant un compteur  
de gaz (12) mesurant un volume V de gaz dans les condi-  
tions de pression P et de température T du gaz circulant  
dans ladite conduite et un appareil (14; 52; 63) de détermi-  
nation du pouvoir calorifique H du gaz, caractérisé en ce  
que ledit appareil de détermination du pouvoir calorifique  
mesure au moins une grandeur physique proportionnelle au  
nombre de molécules des différents constituants du gaz  
dans un volume donné et est placé aussi près que possible  
du compteur de gaz afin de déterminer le pouvoir calorifique  
H (P, T) dans les mêmes conditions de pression P et de  
température T que celles dans lesquelles le volume V (P, T)  
de gaz est mesuré, ledit dispositif déterminant ensuite  
l'énergie calorifique H (P, T) V (P, T) contenue dans le gaz.



L'invention est relative à un dispositif de mesure de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible transporté dans une conduite comprenant un compteur de gaz mesurant un volume  $V$  de gaz dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  du gaz circulant dans ladite conduite et un appareil de détermination du pouvoir calorifique  $H$  du gaz.

Il est connu de mesurer l'énergie contenue dans un gaz combustible, tel que par exemple du gaz naturel, transporté dans une conduite.

Pour ce faire, un appareil tel qu'un chromatographe ou un calorimètre est généralement placé à un endroit donné de la conduite et détermine le pouvoir calorifique  $H$  du gaz sur un échantillon de gaz prélevé dans ladite conduite et ramené à des conditions dites normales de pression  $P_0$  et de température  $T_0$ .

Le pouvoir calorifique  $H$  est donc déterminé dans ces conditions.

Un compteur de gaz placé à un autre endroit de la conduite, généralement en aval de l'appareil, mesure un volume  $V$  de gaz dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  du gaz circulant dans ladite conduite à l'endroit où s'effectue la mesure de volume.

Par ailleurs, un appareil de correction de pression et de température et, parfois aussi de coefficient de compressibilité, est associé au compteur de gaz et transforme le volume de gaz  $V$  mesuré dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  en un volume  $V_0$  ramené aux conditions dites normales de pression  $P_0$  et de température  $T_0$ .

Un capteur de pression et un capteur de température sont nécessaires pour effectuer cette correction sur le volume  $V$ .

L'énergie calorifique contenue dans le gaz est alors le résultat du produit  $HV_0$ .

Cette technique de mesure de l'énergie calorifique du gaz présente cependant des inconvénients car elle nécessite la mise en oeuvre d'un appareil de correction de pression et de température ainsi que des capteurs de pression et de température en sus de l'appareil de détermination du pouvoir calorifique (chromatographe, calorimètre...) qui peut être très coûteux.

Il serait par conséquent intéressant de pouvoir mesurer l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible de manière simplifiée par rapport à ce qui a été décrit précédemment.

La présente invention a ainsi pour objet un dispositif de mesure de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible transporté dans une conduite comprenant un compteur de gaz mesurant un volume  $V$  de gaz dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  du gaz circulant dans ladite conduite et un appareil de

détermination du pouvoir calorifique  $H$  du gaz, caractérisé en ce que ledit appareil de détermination du pouvoir calorifique mesure au moins une grandeur physique proportionnelle au nombre de molécules des différents constituants du gaz dans un volume donné et est placé aussi près que possible du compteur de gaz afin de  
5 déterminer le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  dans les mêmes conditions de pression  $P$  et de température  $T$  que celles dans lesquelles le volume  $V(P,T)$  de gaz est mesuré, ledit dispositif déterminant ensuite l'énergie calorifique  $H(P,T)V(P,T)$  contenue dans le gaz.

Le dispositif selon l'invention permet de ne pas utiliser l'appareil de correction de  
10 pression et de température et donc de ne pas mesurer la pression et la température pour déterminer le pouvoir calorifique du gaz.

Ceci est rendu possible, d'une part, par le fait que la détermination du pouvoir calorifique s'effectue à l'endroit où le volume de gaz est mesuré et dans les mêmes conditions de température et de pression et, d'autre part, en mesurant une grandeur  
15 physique proportionnelle au nombre de molécules des différents constituants du gaz dans un volume donné.

En effet, la mesure de la grandeur physique va directement fournir le nombre de molécules présentes dans le volume donné à pression et température données.

Si la pression ou la température varient, le nombre de molécules dans le volume  
20 donné varie suivant la relation  $n = PV/ZRT$ , où  $Z$  désigne le coefficient de compressibilité du gaz et  $R$  est la constante des gaz parfaits, et la grandeur physique varie dans la même proportion.

Par conséquent, cette grandeur physique mesure le nombre de molécules des différents constituants du gaz indépendamment de la pression et de la température.

25 Avantageusement, la grandeur physique mesurée est l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par au moins un constituant combustible qui est présent de façon majoritaire dans le gaz et pour au moins une longueur d'onde dudit rayonnement.

L'appareil déduit ensuite le pouvoir calorifique de cette mesure d'absorbance.

Par ailleurs, le choix de cette grandeur physique est réellement intéressant puisqu'il  
30 ne nécessite pas de contact avec le gaz.

Le choix d'un rayonnement, c'est-à-dire une gamme de longueurs d'onde, pour lequel les gaz neutres ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) n'absorbent pas est particulièrement intéressant car de tels constituants n'ont aucune contribution dans le pouvoir calorifique du gaz.

Ainsi, par exemple, les constituants  $N_2$  et  $O_2$  n'absorbent pas dans le rayonnement  
35 infra-rouge et le constituant  $CO_2$  n'absorbe pas sur une partie du rayonnement infrarouge.

Il est donc très avantageux d'utiliser cette grandeur physique car elle permet à elle seule de s'intéresser uniquement aux constituants qui contribuent au pouvoir calorifique du gaz ce qui est donc plus simple que d'avoir plusieurs types différents de grandeurs à mesurer.

- 5 En fonction de la composition du gaz et de la précision recherchée sur le pouvoir calorifique il peut être suffisant de ne s'intéresser qu'au seul constituant combustible présent majoritairement dans le gaz, par exemple le méthane ou l'éthane ou le propane ou le butane ou le pentane.

- 10 Afin d'accroître la précision sur la détermination du pouvoir calorifique l'appareil de détermination du pouvoir calorifique du gaz mesure l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par d'autres constituants combustibles présents dans le gaz.

- Ainsi, pour du gaz naturel, en plus de la mesure pour le constituant combustible présent de façon majoritaire dans le gaz, par exemple le méthane, on peut mesurer l'absorbance pour un ou plusieurs autres constituants combustibles minoritaires  
15 choisis parmi l'éthane, le propane, le butane et le pentane.

La (ou les différentes) longueur(s) d'onde du rayonnement peu(ven)t être sélectionnée(s) de façon à ce qu'à chaque longueur d'onde corresponde la contribution d'un seul combustible du gaz ou de plusieurs d'entre eux.

- L'appareil de détermination du pouvoir calorifique du gaz comprend, plus  
20 particulièrement, sur au moins une partie de l'écoulement du gaz :  
- au moins une source d'émission du rayonnement électromagnétique à travers ladite partie d'écoulement de gaz,

- des moyens de filtrage dudit rayonnement,  
- des moyens de détection dudit rayonnement atténué par l'absorption due au(x)  
25 constituant(s) combustible(s) du gaz, pour la ou les longueur(s) d'onde correspondante(s), fournissant un signal électrique représentatif de ce rayonnement pour chaque longueur d'onde considérée et,  
- des moyens électroniques pour en déduire le pouvoir calorifique du gaz ainsi que l'énergie  $H(P,T)$   $V(P,T)$  contenue dans le gaz.

- 30 Les moyens de filtrage du rayonnement peuvent comprendre un (ou plusieurs) filtre(s) interférentiel(s) qui est (sont chacun) adapté(s) à une longueur d'onde différente du rayonnement pour laquelle au moins l'un desdits constituants du gaz présente une absorption

- Selon une autre possibilité, les moyens de filtrage du rayonnement peuvent  
35 comprendre un filtre accordable électriquement sur une gamme de longueurs d'onde incluant au moins une longueur d'onde pour laquelle ou lesquelles le(s)dit(s) constituant(s) du gaz présente(nt) une absorption.

Le rayonnement électromagnétique est par exemple situé dans infrarouge.

La gamme de longueurs d'onde inclut une (des) longueur(s) d'onde pour laquelle (lesquelles) le(s) dit(s) constituants du gaz présente(nt) une absorption est par exemple comprise entre 1 et 12  $\mu\text{m}$ .

- 5 Lorsque le constituant majoritaire dans le gaz est le méthane il est par exemple possible de s'intéresser à une gamme de longueurs d'onde entre 1,6 et 1,3  $\mu\text{m}$ .

- 10 L'invention a également pour objet un procédé de mesure de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible transporté dans une conduite consistant à mesurer un volume V de gaz dans les conditions de pression P et de température T du gaz circulant dans ladite conduite et à déterminer le pouvoir calorifique H du gaz, caractérisé en ce que ledit procédé consiste à mesurer, dans les conditions de pression P et de température T qui sont celles dans lesquelles le volume V (P,T) de gaz est mesuré, au moins une grandeur physique proportionnelle au nombre de molécules  
15 des différents constituants du gaz dans un volume donné et à déduire directement de cette mesure le pouvoir calorifique H (P,T) dans les mêmes conditions de pression P et de température et à déterminer ensuite l'énergie calorifique H (P,T) V (P,T) contenue dans le gaz.

- 20 Plus particulièrement, le procédé selon l'invention consiste à mesurer une grandeur physique qui est l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par au moins un constituant combustible présent majoritairement dans le gaz pour au moins une longueur d'onde dudit rayonnement.

- 25 Le procédé selon l'invention peut également consister à mesurer l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par d'autres constituants combustibles présents dans le gaz pour différentes longueurs d'onde dudit rayonnement.

- Le procédé selon l'invention consiste à sélectionner la (ou les) différente(s) longueur(s) d'onde du rayonnement de façon à ce qu'à chaque longueur d'onde corresponde la contribution d'un seul constituant combustible du gaz ou de plusieurs d'entre eux.

- 30 Le procédé selon l'invention consiste, plus précisément, à :

- émettre un rayonnement électromagnétique à travers au moins une partie de l'écoulement du gaz,
- filtrer ledit rayonnement,
- détecter le rayonnement atténué par l'absorption due au(x) constituant(s)  
35 combustible(s) du gaz pour la (ou les) longueur(s) d'onde correspondante(s), et fournir un signal électrique représentatif de ce rayonnement pour chaque longueur d'onde considérée, et

- déterminer à partir du signal ou des signaux le pouvoir calorifique du gaz ainsi que l'énergie calorifique  $H(P,T)$   $V(P,T)$  contenue dans le gaz.

Le rayonnement électromagnétique est choisi de manière à ce que les gaz neutres ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) n'absorbent pas vis-à-vis de ce rayonnement.

5 Le rayonnement est par exemple choisi dans infrarouge.

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

10 - la figure 1 est une vue d'ensemble d'un dispositif de mesure de l'énergie selon l'invention,

- la figure 2a représente un schéma simplifié des différents éléments constitutifs de l'appareil,

- la figure 2b représente de manière schématique des raies d'absorption distinctes pour trois longueurs d'onde différentes,

15 - la figure 2c représente d'une manière schématique trois spectres d'absorption A, B, C de constituants combustibles différents et leur position relative par rapport à trois longueurs d'onde différentes

- la figure 3 est une vue schématique représentant un filtre accordable électriquement,

- la figure 4 est une vue d'une variante de réalisation de l'appareil.

20

Comme représenté à la figure 1 et désigné par la référence générale notée 10, un dispositif de mesure de l'énergie contenue dans un gaz combustible, tel que par exemple du gaz naturel, comprend un compteur de gaz 12 et un appareil 14 de détermination du pouvoir calorifique  $H$  du gaz.

25 L'écoulement de gaz indiqué par la flèche repérée par la lettre G sur la figure 1 est transporté dans une conduite 16 où est installé le dispositif 10.

Le compteur de gaz 12 comprend une unité de mesure qui est formée d'un oscillateur fluide de type connu et qui est décrit en détail dans la demande de brevet n°WO 97 35116.

30 Cet oscillateur comprend une enceinte 18 délimitant une chambre 20 dans laquelle est installé un obstacle 22 ainsi qu'une entrée 24 et une sortie 26 aménagées dans l'enceinte afin de permettre à l'écoulement de gaz respectivement d'entrer ou de sortir de ladite chambre 20.

35 L'entrée 24 est réalisée sous la forme d'une fente de faible largeur comparée à sa dimension longitudinale qui est perpendiculaire au plan de la figure 2, ceci afin de

former un jet de gaz qui va osciller dans la chambre 20. Deux capteurs thermiques 28, 30 (représentés par des ronds sur la figure 1) permettent de détecter la fréquence d'oscillation du jet. Cet oscillateur fluidique fonctionne de la manière décrite dans le document WO 97 35116.

- 5 Il convient de noter que tout autre type de compteur de gaz pourrait être utilisé à la place de celui-ci aux fins de la présente invention.

Par exemple, un compteur de gaz volumétrique à pistons rotatifs ou à soufflets déformables ou bien encore un compteur basé sur le principe de la mesure du temps de propagation d'une onde acoustique émise dans l'écoulement entre au moins deux transducteurs acoustiques pourraient être utilisés ici.

- 10 Le compteur de gaz mesure un volume de gaz  $V$  dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  qui sont celles du gaz dans la conduite 16. L'appareil 14 est disposé aussi près que possible du compteur de gaz, voire dans l'unité de mesure, si cela s'avère réalisable, afin que le pouvoir calorifique  $H$  soit directement déterminé par cet appareil dans les mêmes conditions de pression  $P$  et de température  $T$  que celles correspondant à la mesure du volume de gaz.

Ainsi, l'énergie calorifique ou enthalpie de combustion du gaz est donnée par le produit des deux mesures  $V(P,T)$  et  $H(P,T)$  sans que le volume  $V$  ait été corrigé auparavant en pression et en température. L'appareil 14 peut déterminer directement le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  dans les conditions de pression et de température qui sont celles de l'écoulement du gaz dans la conduite car cet appareil mesure au moins une grandeur physique qui est proportionnelle au nombre de molécules des différents constituants du gaz dans un volume donné et cette mesure peut être réalisée sur les molécules soumises à la pression  $P$  et à la température  $T$

- 20 On connaît par exemple d'après le document EP n°95308501.6 une méthode de détermination du pouvoir calorifique qui nécessite la mesure de quatre grandeurs physiques qui sont : la densité, la vitesse du son, la conductivité thermique et la viscosité.

- Avantageusement, il est possible de simplifier considérablement la méthode de détermination du pouvoir calorifique en choisissant comme seule grandeur physique la propriété des constituants combustibles présents dans un gaz qui consiste à absorber un rayonnement électromagnétique pour au moins une longueur d'onde de ce rayonnement.

- 30 Dans un tel cas, le contact avec le gaz n'est pas nécessaire pour la mesure et l'appareil 14 de détermination du pouvoir calorifique peut être installé directement sur la conduite 16 sans que cela n'occasionne de perturbation sur l'écoulement du gaz.

Ainsi que représenté sur les figures 1 et 2a, cet appareil comprend une source 32 d'émission d'un rayonnement électromagnétique qui émet ce rayonnement à travers une partie 34 de l'écoulement délimitée par le faisceau de ladite source.

La source 32 est montée d'un côté de la conduite 16.

- 5 L'appareil 14 comprend, du côté opposé de la conduite, un bloc 36 qui contient, d'une part, des moyens de filtrage du rayonnement atténué par l'absorption due aux constituants combustibles du gaz et, d'autre part, des moyens de détection de ce rayonnement atténué et filtré.

Il convient de remarquer que les moyens de filtrage pourraient, à titre d'alternative,  
10 être montés du côté où se trouve la source 32.

Les moyens de filtrage peuvent comprendre un ou plusieurs filtres interférentiels classiques qui sont chacun adaptés à une longueur d'onde particulière.

- Un seul filtre peut être utilisé lorsque le gaz comprend majoritairement voire  
15 uniquement du méthane et quelques gaz neutres. Le filtre est alors adapté pour filtrer le rayonnement autour d'une longueur d'onde caractéristique de l'absorption du méthane.

Toutefois, dans la plupart des cas plusieurs filtres sont prévus, soit parce que l'on désire mesurer l'absorption par d'autres constituants combustibles minoritaires en  
20 vue d'obtenir une très bonne précision sur le pouvoir calorifique, soit parce que les autres constituants combustibles présents dans le gaz contribuent de manière significative au pouvoir calorifique et leur non prise en compte se traduirait par un pouvoir calorifique totalement irréal.

- Chacun des filtres est adapté à une longueur d'onde différente du rayonnement. Les longueurs d'onde, par exemple  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  peuvent être choisies de telle façon qu'à  
25 chacune d'elles corresponde le spectre d'un seul constituant combustible (Fig. 2b) ou bien le spectre de plusieurs constituants (Fig. 2c). Il est plus facile de choisir le premier cas car alors l'absorption par le constituant correspondant est directement obtenue par les moyens de détection.

- Dans le second cas, illustré à la figure 2c par les spectres A, B et C de trois  
30 constituants combustibles différents, l'absorbance mesurée est fonction de la contribution de tous les constituants présents à la longueur d'onde considérée ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ) et il est donc nécessaire de résoudre un système d'équations où les inconnues sont les nombres de moles des différents constituants par unité de volume à la pression P et à la température T..

- 35 Il faut également veiller à ce que les longueurs d'onde soient choisies de manière à ce que pour chacune d'elles soient obtenues des informations indépendantes sur la contribution de chaque constituant.



Autrement, le système d'équations ne pourrait être résolu.

De tels filtres peuvent par exemple être installés sur un barillet monté rotatif autour d'un axe sous l'action d'un moteur.

Il est également possible de simplifier l'appareil en prévoyant à la place des filtres  
5 interférentiels un filtre 38 accordable électriquement sur une gamme de longueurs d'onde incluant la (ou les) longueur(s) d'onde pour laquelle (ou lesquelles) le (ou les) constituant(s) absorbe(nt) le rayonnement.

Le rayonnement électromagnétique choisi pourrait par exemple être situé dans le domaine des hyperfréquences ou bien dans le domaine optique. Dans le domaine  
10 optique, il pourrait s'agir de rayonnement ultraviolet ou infrarouge.

Plus particulièrement, le rayonnement optique est de type infrarouge et l'on s'intéresse précisément à une partie du spectre infrarouge sur laquelle les constituants  $N_2$ ,  $O_2$  et  $CO_2$  ne présentent aucune absorption.

La source 32 est par exemple une source à large bande constituée d'un filament de tungstène.  
15

Le filtre 38 est par exemple accordable sur la gamme de longueurs d'onde comprises entre 3,2 et 3,6  $\mu m$ .

Un tel filtre est représenté à la figure 3 et est décrit en détail dans la demande de brevet européen n° 0 608 049. Ce filtre, par exemple réalisé en silicium micro-usiné,  
20 est constitué d'une électrode fixe 40 formant un support et d'une électrode mobile 42 séparées l'une de l'autre d'une distance déterminée  $e_0$  correspondant à une position dans laquelle l'électrode mobile n'est pas déformée.

Dans cette position dite de repos le rayonnement indiqué par la flèche repérée par la lettre R sur la figure 3 est filtré pour la longueur d'onde  $\lambda_0$  qui est égale à  $2 e_0$  (et  
25 pour les harmoniques de cette longueur d'onde).

Une source de tension 44 est reliée aux électrodes mobile et fixe et, lorsqu'une tension est appliquée, l'électrode mobile se déforme et se rapproche de l'électrode fixe. La distance entre les électrodes se réduit à  $e_1$  ( $e_1 < e_0$ ) et, le rayonnement est alors filtré pour la longueur d'onde  $\lambda_1$  égale à  $2 e_1$ . Ainsi, pour différentes valeurs de  
30 tension électrique le filtre s'accorde sur différentes longueurs d'onde.

Comme représenté sur la figure 2, le bloc 36 comprend également un détecteur 44 à large bande tel que par exemple un bolomètre, une thermopile ou une photodiode.

L'énergie contenue dans le rayonnement infrarouge qui traverse le gaz et le filtre 38 est reçue par le détecteur 44 et est transformé en un signal électrique représentatif de  
35 ce rayonnement.

Le signal est ensuite amplifié et converti en signal numérique par le convertisseur 46 puis injecté dans un microprocesseur 48.

Un convertisseur numérique analogique 50 est utilisé pour le contrôle du filtre 38 et notamment pour sélectionner les différentes longueurs d'onde.

A titre d'exemple, le gaz est du gaz naturel dont la composition est la suivante avec le pouvoir calorifique correspondant en kilo Joule par mole :

5	Méthane	89,5 %	891,09
	Ethane	5 %	1561,13
	Propane	1 %	2220,13
	Butane	0,6 %	2873,97
	Pentane	0,3 %	3527,8
10	Gaz neutres	3,6 %	

Les longueurs d'onde sont sélectionnées comme décrit précédemment et sont par exemple définies comme suit :

$$\lambda_1 = 3,2 \mu\text{m}$$

$$\lambda_2 = 3,3 \mu\text{m}$$

$$15 \quad \lambda_3 = 3,4 \mu\text{m}$$

$$\lambda_4 = 3,5 \mu\text{m}$$

$$\lambda_5 = 3,6 \mu\text{m}$$

Ces longueurs d'onde sont telles qu'à chacune d'elles correspond la contribution de plusieurs constituants combustibles.

20 En appliquant une tension V de valeur déterminée par exemple égale à 20V au filtre 38 celui-ci s'accorde sur la longueur d'onde  $\lambda_1$  et le détecteur 44 fournit un signal électrique correspondant à  $S_1(V)$  :

$$S_1(V) = \int_{\lambda} E(\lambda) \theta_{\text{gaz}}(\lambda, x_i) \theta_f(\lambda, V) S_d(\lambda) d\lambda$$

25 où E( $\lambda$ ) désigne l'intensité lumineuse émise par la source 32, et  $\theta_{\text{gaz}}(\lambda, x_i) = \exp(-L \sum \alpha_i(\lambda) \cdot x_i)$  désigne la réponse spectrale due à tous les

constituants combustibles gazeux présents à cette longueur d'onde.

L désignant la longueur du trajet optique dans le gaz,

30  $x_i$  représentant le nombre de moles du constituant combustible i par unité de volume à la pression P et à la température T,

$\alpha_i$  désignant le coefficient d'absorption du constituant combustible i, et dépendant de la longueur d'onde, de la pression et de la température,

$\theta_f(\lambda, V)$  représente la transmission optique due au filtre 38 et  $S_d$  représente la

35 réponse spectrale du détecteur;

En accordant le filtre 38 sur les différentes longueurs d'onde  $\lambda_1$  à  $\lambda_5$  pour différentes valeurs de tension on mesure les valeurs  $S_1(V_1)$  à  $S_5(V_5)$ . L'absorbance A se définit

comme suit  $A(V) = \text{Ln}(1/S(V))$ , où  $\text{Ln}$  désigne la fonction logarithme népérien, et l'on obtient le système suivant de cinq équations.

$$A_1(V_1) = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{51}x_5$$

$$A_2(V_2) = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{52}x_5$$

5

$$\dots\dots\dots$$

$$A_5(V_5) = a_{15}x_1 + a_{25}x_2 + \dots + a_{55}x_5$$

où les termes  $a_{ij}$  dépendent du constituant  $i$  et de l'appareil 14.

Avant de mettre en oeuvre l'invention sur un gaz naturel de composition non connue on procède à une étape d'étalonnage préalable en laboratoire en injectant dans l'appareil 14 plusieurs gaz avec des constituants de nombres de moles par unité de volume  $x_i$  connues à  $T$  et  $P$  données.

Pour chaque gaz de composition connue, les tensions  $V_i$  ( $i=1, \dots, 5$ ) sont successivement appliquées au filtre pour que sa transmission spectrale s'accorde sur les longueurs d'onde  $\lambda_i$  ( $i=1, \dots, 5$ ) et pour chaque couple  $V_i/\lambda_i$  le détecteur fournit une valeur  $S_{i1}(V_i)$ .

Ainsi, pour le premier gaz, on obtient un système de cinq équations:

$$A_{11}(V_1) = a_{11}x_1 + \dots + a_{51}x_5$$

$$\dots\dots\dots$$

$$A_{51}(V_5) = a_{15}x_1 + \dots + a_{55}x_5$$

où les  $x_i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) sont connues et les termes  $a_{ij}$  sont les inconnus.

En injectant dans l'appareil 14 quatre autres gaz de compositions connues on obtient ainsi vingt équations supplémentaires avec les mêmes termes  $a_{ij}$  que précédemment.

Ceci permet alors de résoudre par une méthode mathématique connue, telle que par exemple une méthode de résolution d'équations linéaires, le système d'équations suivant où les inconnues sont les coefficients en  $a_{ij}$  :

$$[A_j] = [a_{ij}] [x_i]$$

$k=1, \dots, 5 \qquad i=1, \dots, 5$

où les indices  $k$  identifient le mélange de gaz connu concerné.

En inversant par une méthode mathématique d'inversion classique la matrice  $[a_{ij}]$ , on se ramène à un système

$$[x_i] = [a_{ij}]^{-1} [A_j] = [b_{ij}] [A_j]$$

$x=1, \dots, 5 \quad i=1, \dots, 5 \quad j=1, \dots, 5 \quad i=1, \dots, 5 \quad j=1, \dots, 5$

Ainsi, les valeurs  $x_i$  s'écrivent  $x_i = \sum_{j=1, \dots, 5} b_{ij} A_j(V)$ ,

Il suffit de mémoriser dans la mémoire du microprocesseur 48 les données  $b_{ij}$  calculées lors de la calibration, et lorsqu'un gaz naturel de composition non connue et donc de pouvoir calorifique non connu est transporté dans la conduite 16, les

différentes valeurs  $A_j(V)$  sont mesurées pour différentes longueurs d'onde du filtre obtenues pour les valeurs de tensions correspondantes et les termes  $x_i$  s'en déduisent facilement.

Le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  du gaz s'écrit  $\sum_{i=1, \dots, 5} x_i H_i$  où  $H_i$  représente le pouvoir

5

calorifique du constituant  $i$  en Joules par mole.

Par conséquent, dès que les termes  $x_i$  sont déterminés, le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  est obtenu directement.

L'énergie  $H(P,T) V(P,T)$  est alors déduite de ce qui précède.

- 10 L'appareil de détermination du pouvoir calorifique peut également par exemple être placé en aval de la chambre 20 de l'oscillateur fluide et être désigné par la référence générale 52 (Fig.1).

Cet appareil comprend de manière analogue à l'appareil 14, une source 54, des moyens de filtrage et de détection 56 ainsi qu'une chambre 58 remplie de gaz et

- 15 disposée entre la source 54 et les moyens 56.

L'appareil 52 est monté en dérivation sur la conduite 16 au moyen de deux raccords 60, 62 qui permettent respectivement d'amener une partie de l'écoulement de gaz dans la chambre 58 et de la ramener dans ladite conduite. Le raccord 60 possède une partie qui débouche dans la conduite à distance de la paroi de celle-ci afin

- 20 d'échantillonner du gaz dont la composition est représentative de celle de l'écoulement.

L'installation de l'appareil 58 est avantageuse car en prévoyant deux vannes de coupure sur chacun des raccords 60, 62 il est aisé d'enlever ledit appareil, par exemple pour des raisons de maintenance, sans arrêter la circulation du gaz dans la

- 25 conduite et donc en continuant à mesurer le volume de gaz  $V(P,T)$ .

La figure 4 illustre une variante de l'appareil 63 de détermination du pouvoir calorifique dans laquelle la source 64, les moyens de filtrage et de détection 66 sont aménagés d'un même côté dudit appareil.

- 30 Un miroir 68 par exemple sphérique est prévu du côté opposé de l'appareil afin de réfléchir le rayonnement issu de la source sur les moyens 66. Une chambre 70 remplie de gaz est disposée entre, d'une part, le miroir 68 et, d'autre part, la source 64 et les moyens 66.

Deux raccords 72, 74 sont prévus pour amener et évacuer le gaz de la chambre 70.

Cet appareil peut être directement monté comme l'appareil 52 de la figure 1.

- 35 Toutefois, il pourrait être envisagé de le placer comme l'appareil 14 en supprimant la chambre 70 et les raccords 72, 74 puisque, dans ce cas, l'écoulement de gaz de la conduite circulerait directement entre le miroir 68 et la source 64 et les moyens 66.

On pourrait également installer l'appareil à un autre endroit dans l'oscillateur fluïdique lui même et, par exemple, au droit de l'entrée 24 en forme de fente.

## Revendications

1. Dispositif (10) de mesure de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible transporté dans une conduite (16) comprenant un compteur de gaz (12) mesurant un volume  $V$  de gaz dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  du gaz circulant dans ladite conduite et un appareil (14 ; 52 ; 63) de détermination du pouvoir calorifique  $H$  du gaz, caractérisé en ce que ledit appareil de détermination du pouvoir calorifique mesure au moins une grandeur physique proportionnelle au nombre de molécules des différents constituants du gaz dans un volume donné et est placé aussi près que possible du compteur de gaz afin de déterminer le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  dans les mêmes conditions de pression  $P$  et de température  $T$  que celles dans lesquelles le volume  $V(P,T)$  de gaz est mesuré, ledit dispositif déterminant ensuite l'énergie calorifique  $H(P,T) V(P,T)$  contenue dans le gaz.
2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'appareil (14 ; 52 ; 63) de détermination du pouvoir calorifique  $H(P,T)$  du gaz mesure une grandeur physique qui est l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par au moins un constituant combustible présent majoritairement dans le gaz pour au moins une longueur d'onde dudit rayonnement électromagnétique et ledit appareil déduisant le pouvoir calorifique de cette mesure d'absorption.
3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel l'appareil (14 ; 52 ; 63) de détermination du pouvoir calorifique  $H(P,T)$  du gaz mesure l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par d'autres constituants combustibles présents dans le gaz pour différentes longueurs d'onde dudit rayonnement électromagnétique.
4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les différentes longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique sont sélectionnées de manière à ce qu'elles correspondent chacune à la contribution d'un seul constituant combustible.
5. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel à chaque longueur d'onde du rayonnement électromagnétique correspond la contribution de plusieurs constituants combustibles.
6. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 5, dans lequel l'appareil de détermination du pouvoir calorifique  $H(P,T)$  du gaz comprend, sur au moins une partie de l'écoulement du gaz:

- au moins une source (32 ; 54 ; 64) d'émission du rayonnement électromagnétique à travers ladite partie d'écoulement de gaz,
- des moyens de filtrage (36 ; 38 ; 66) dudit rayonnement,
- des moyens de détection (36 ; 44 ; 66) dudit rayonnement atténué par l'absorption due au(x) constituant(s) combustible(s) du gaz, pour la ou les longueur(s) d'onde correspondante(s), fournissant un signal électrique représentatif de ce rayonnement pour chaque longueur d'onde considérée et,
- des moyens électroniques (48) pour en déduire le pouvoir calorifique du gaz ainsi que l'énergie  $H(P,T)$   $V(P,T)$  contenue dans le gaz.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les moyens de filtrage (36 ; 38 ; 66) dudit rayonnement comprennent un (ou plusieurs) filtre(s) interférentiel(s) qui est (sont chacun) adapté(s) à une longueur d'onde différente du rayonnement pour laquelle au moins l'un desdits constituants du gaz présente une absorption.

8. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les moyens de filtrage dudit rayonnement comprennent un filtre (38) accordable électriquement sur une gamme de longueurs d'onde incluant au moins une longueur d'onde pour laquelle ou lesquelles le(s)dit(s) constituant(s) du gaz présente(nt) une absorption.

9. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 8, dans lequel le rayonnement électromagnétique est choisi de manière à ce que les gaz neutres ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) n'absorbent pas vis-à-vis de ce rayonnement.

10. Dispositif selon l'une des revendications 2 à 9, dans lequel le rayonnement optique est situé dans l'infra-rouge.

11. Dispositif selon les revendications 8 et 10, dans lequel la gamme de longueurs d'onde incluant une (des) longueur(s) d'onde pour laquelle (lesquelles) le(s) dit(s) constituants du gaz présente(nt) une absorption est comprise entre 1 et  $12\mu m$ .

12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le méthane est utilisé comme constituant du gaz pour la détermination du pouvoir calorifique.

13. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel l'éthane est utilisé comme constituant du gaz pour la détermination du pouvoir calorifique.

14. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel le propane est utilisé comme constituant du gaz pour la détermination du pouvoir calorifique.
15. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel le butane est utilisé comme constituant du gaz pour la détermination du pouvoir calorifique.
16. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel le pentane est utilisé comme constituant du gaz pour la détermination du pouvoir calorifique.
17. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 16, dans lequel le gaz combustible est du gaz naturel.
18. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 17, dans lequel l'appareil (14 ; 52 ; 63) de détermination du pouvoir calorifique  $H(P,T)$  du gaz est intégré au compteur de gaz (12).
19. Procédé de mesure de l'énergie calorifique contenue dans un gaz combustible transporté dans une conduite (16) consistant à mesurer un volume  $V$  de gaz dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  du gaz circulant dans ladite conduite et à déterminer le pouvoir calorifique  $H$  du gaz, caractérisé en ce que ledit procédé consiste à mesurer, dans les conditions de pression  $P$  et de température  $T$  qui sont celles dans lesquelles le volume  $V(P,T)$  de gaz est mesuré, au moins une grandeur physique proportionnelle au nombre de molécules des différents constituants du gaz dans un volume donné et à déduire directement de cette mesure le pouvoir calorifique  $H(P,T)$  dans les mêmes conditions de pression  $P$  et de température et à déterminer ensuite l'énergie  $H(P,T) V(P,T)$  contenue dans le gaz.
20. Procédé selon la revendication 19, consistant à mesurer une grandeur physique qui est l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par au moins un constituant combustible présent majoritairement dans le gaz pour au moins une longueur d'onde dudit rayonnement.
21. Procédé selon la revendication 20, consistant à mesurer l'absorbance d'un rayonnement électromagnétique par d'autres constituants combustibles présents dans le gaz pour différentes longueurs d'onde dudit rayonnement.



22. Procédé selon la revendication 21, consistant à sélectionner la (ou les) longueur(s) d'onde du rayonnement électromagnétique de manière à ce qu'à chacune d'elles corresponde la contribution d'un seul constituant combustible.

5 23. Procédé selon la revendication 21, consistant à sélectionner la (ou les) longueur(s) d'onde du rayonnement électromagnétique de manière à ce qu'à chacune d'elles corresponde la contribution de plusieurs constituants combustibles.

24. Procédé selon l'une des revendications 20 à 23, consistant à :

- 10 - émettre un rayonnement électromagnétique à travers au moins une partie de l'écoulement du gaz,  
- filtrer ledit rayonnement,  
- détecter le rayonnement atténué par l'absorption due au(x) constituant(s) combustible(s) du gaz pour la (ou les) longueur(s) d'onde correspondante(s), et  
15 fournir un signal électrique représentatif de ce rayonnement pour chaque longueur d'onde considérée, et  
- déterminer à partir du signal ou des signaux le pouvoir calorifique du gaz ainsi que l'énergie  $H(P,T)$   $V(P,T)$  contenue dans le gaz.

20 25. Procédé selon l'une des revendications 20 à 24, selon lequel le rayonnement électromagnétique est choisi de manière à ce que les gaz neutres ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ) n'absorbent pas vis-à-vis de ce rayonnement.

25 26. Procédé selon l'une des revendications 20 à 25, selon lequel le rayonnement optique est situé dans l'infra-rouge.

1/2

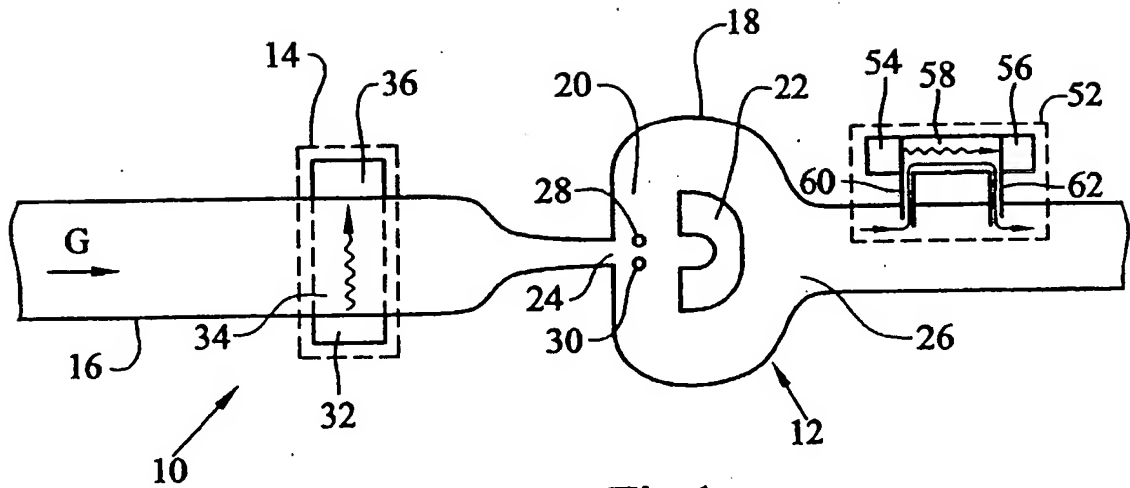


Fig. 1

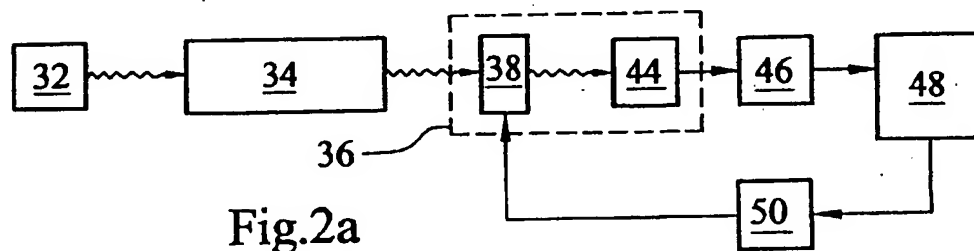


Fig. 2a

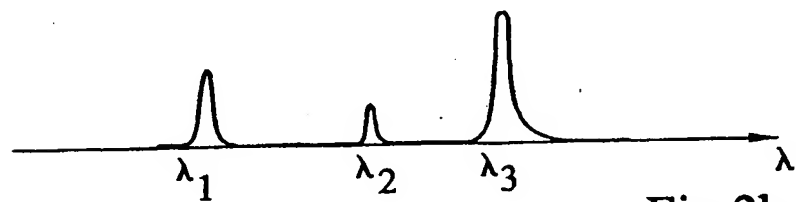


Fig. 2b

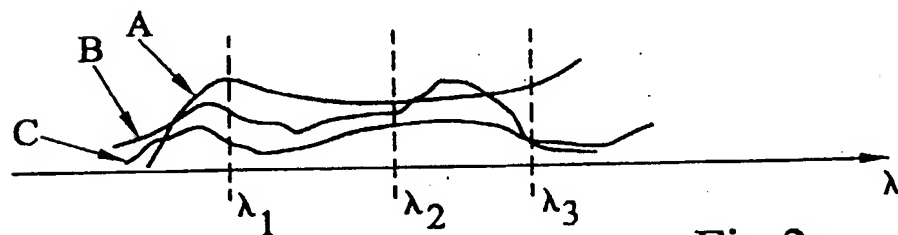
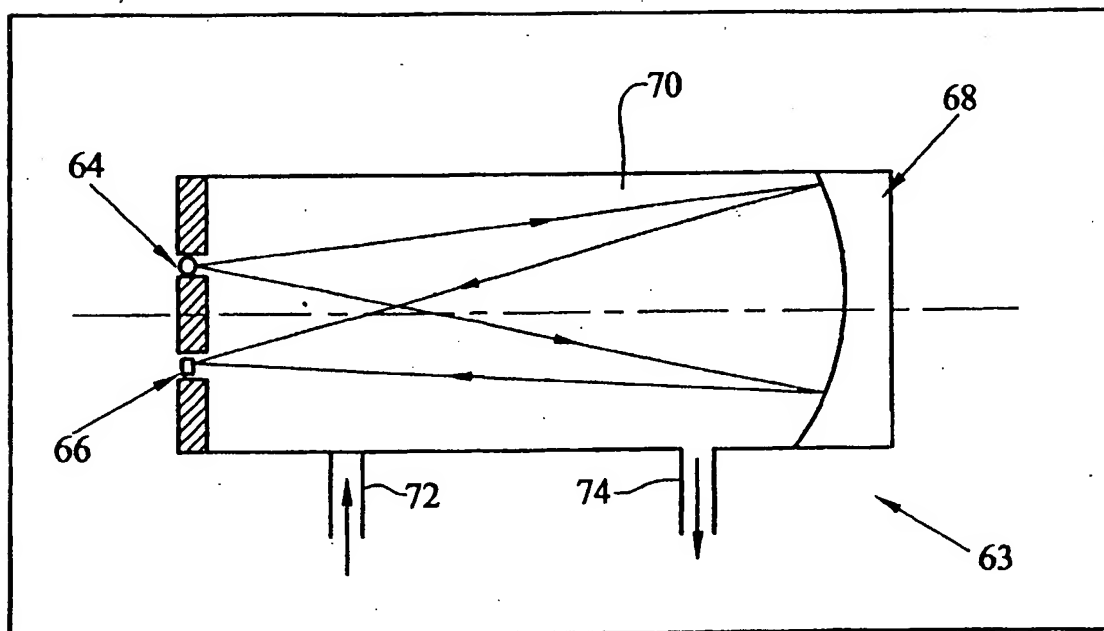
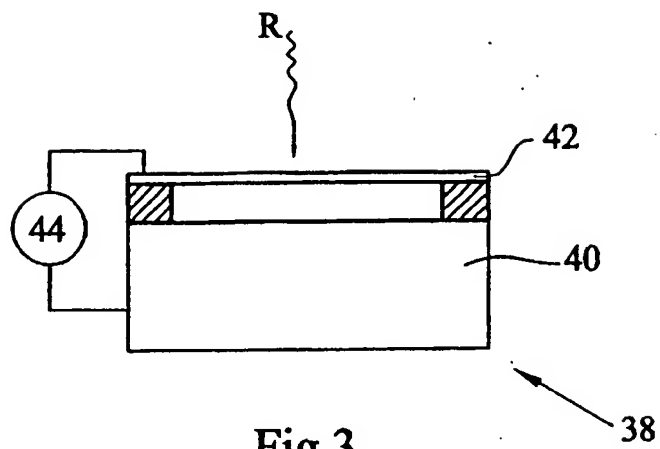


Fig. 2c

2/2



2776776

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 558913  
FR 9803718

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
E	WO 98 32003 A (ADLER GOLDEN STEVEN ;SPECTRAL SCIENCES INC (US); BIEN FRITZ (US);) 23 juillet 1998  * page 5, ligne 27 - page 7, ligne 21; figure 1 * * page 12, ligne 5 - ligne 7 * * page 15, ligne 21 - ligne 34 *	1-4, 6, 8-10, 12-17, 19-26
Y	GB 2 228 568 A (GAS RES INST) 29 août 1990  * page 6, ligne 6 - ligne 12 * * page 8, ligne 6 - page 10, ligne 4; figure 1 * * page 11, ligne 9 - ligne 15 *	1-8, 10-14, 17, 19-24, 26
Y	WO 93 08457 A (NIAGARA MOHAWK POWER CORP) 29 avril 1993  * page 4, ligne 9 - page 5, ligne 13 * * page 18, ligne 19 - ligne 33; revendication 1; figure 2 *	1-3, 6, 7, 10-14, 17, 19-21, 24, 26
Y	DE 26 35 769 A (THERMO ELECTRON CORP) 22 septembre 1977 * page 17, ligne 26 - page 18, ligne 3; figure 9 * * page 19, ligne 11 - ligne 27 *	4, 5, 22, 23
Y, D	EP 0 608 049 A (VAISALA OY) 27 juillet 1994 * colonne 4, ligne 28 - colonne 5, ligne 20; figures 2, 3 *	8
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
8 décembre 1998		Navas Montero, E
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.92 (P4/C13)